BIM 融合工业数字化的创新技术在幕墙出图下料中的应用

陈炳任　邱继衡

（中建深圳装饰有限公司，深圳　518035）

【摘　要】本文以某超高层复杂单元幕墙工程为例，探讨 BIM 融合工业数字化的创新技术在超高层复杂单元幕墙出图下料中的应用，并与传统幕墙出图下料方法流程进行对比，体现 BIM 融合工业数字化的创新技术在单元幕墙出图下料中的强大优势。

【关键词】BIM；工业数字化；幕墙；出图下料；Rhino；Inventor

【中图分类号】TU17　　【文献标识码】A

【版权声明】本文被《土木建筑工程信息技术》、中国知网重要会议论文全文数据库（CPCD）收录上网，未经授权严禁登载。

引言

2017 年，国家出台了《建筑信息模型应用统一标准》GB/T 51212 – 2016[1]、《建筑信息模型施工应用标准》GB/T 51235 – 2017[2] 两项 BIM 标准，为行业提供了规范性指导，同时在《建筑工程设计 BIM 应用指南（第二版）》[3] 等相关书籍中也明确了建筑的全生命周期流程，并介绍了 BIM 在建筑行业各领域中应用[4]，不管是在工程设计、施工还是项目管理等方面都展现出 BIM 的巨大应用价值。在建筑幕墙中，BIM 技术应用也比较广泛，如上海中心、中国尊、深圳平安金融大厦、银河 SOHO 等建筑均应用了 BIM 技术辅助建造，通过 BIM 技术应用，解决了复杂幕墙设计难度大、加工精度要求高、施工安装管理难、运营维护难度大等难点，实现了幕墙工程的智慧建造[5]。

在幕墙设计阶段，BIM 参数化设计能力为方案多次修改提供高效的方法，其可视化功能也能够让业主和建筑师快速理解并确定方案提供可能性[6]。在深化阶段，应用 BIM 技术全系统建模和协同作业，进行碰撞检测、辅助深化、结构计算、节点模拟、出施工图[5]。在施工阶段，结合三维扫描、动画模拟、AR/VR 等技术，辅助项目管理和施工指导，确保工程质量与工期进度；通过 BIM 参数化设计辅助实现构件批量材料下单与指导不规则放置的材料空间定位。

在建筑幕墙项目中，有大量的工作是在出图下料，下料工作量的占比还会随着项目复杂程度的增加而提高，特别是遇上深化改图后，会造成改动部分需重新修改加工图纸、料单等，而且现有的工作流程各式各样，大都以完成实际项目为唯一目标，效果难以量化。本文围绕 BIM 融合工业数字化的创新技术在单元幕墙出图下料中的应用展开研究，测试并总结了一套基于 Rhino 软件和 Autodesk Inventor 软件的出图下料技术流程，抛砖引玉，希望能帮助广大幕墙设计师了解和利用 BIM 融合工业数字化的创新技术，解决幕墙出图下料阶段的效率问题。

1　单元幕墙出图下料存在的问题

一是单元板块组装复杂、要求精度高，型材的开孔、避位等需要非常精准。

二是单元板块组框图、加工图复杂，二维图纸效率低，不够直观。

【作者简介】陈炳任（1986 – ），男，中建深圳装饰有限公司设计研究院参数化设计师，主要研究方向：BIM 技术应用、云应用平台、协同设计、数据管理等；邱继衡（1995 – ），男，中建深圳装饰有限公司设计研究院参数化设计师，主要研究方向：异形幕墙与室内材料下单、参数化曲面设计、Rhino/Grasshopper 软件二次开发、BIM 技术应用。

三是组装清单和下料单内容多，可能会出现遗漏和错误，要求设计师非常细心。

四是深化改图后对出图下料影响较大，改动部分需重新出图下料，造成工作量增加。

2 国内幕墙出图下料主要技术路线介绍

2.1 基于 Revit 出图下料

Revit 在建筑土建与装饰下料应用比较多也比较成熟，大部分是通过从模型中提取信息，利用明细表统计功能导出工料明细表，然后基于模型生成二维或三维图纸[7]；相对复杂的工程，则需要通过建立数学模型、优化算法和编写 Revit 二次开发实现出图下料[8]。

主要技术路线：在 Revit 创建体量进行幕墙表皮分割，创建幕墙单元板块族自适应生成幕墙 BIM 模型，并通过 Revit 明细表功能统计幕墙材料。由于 Revit 软件局限性，不能出型材加工图，这种方法适用于主材的提料、幕墙网格划分、编号等信息的提取，配合 CAD 或其他平台使用出加工图。

2.2 基于 Catia(DP)出图下料

Catia 主要是通过二次开发，利用相关 API 开发出对应专业的应用，实现模型参数化设计[9]，其出图下料技术在建筑的梁、柱等框架结构[10]得到广泛应用。

主要技术路线：在 Catia(DP)创建幕墙表皮或通过犀牛导入，通过衍生功能生成幕墙 BIM 模型，通过编写程序生成料单和输出型材加工图。

2.3 基于 Pro－E 出图下料

主要技术路线：通过 CAD 图纸建立幕墙模型，使用二次开发外部插件，实现单元幕墙整体立面生成、单元板块装配、自动切割、坚固和开孔、输出加工图和统计料单等功能。

3 BIM 融合工业数字化创新技术应用环境

通过行业了解与市场调查，目前应用到建筑幕墙下料的 BIM 软件与工业数字化软件有以下几种[11](表 1)。

表 1 建筑幕墙 BIM 软件

公司名称	三维设计	机械设计
Autodesk	Revit	Inventor
Robert	Rhino/Grasshopper(插件)	/
达索	Catia/Solidworks/DP	
PTC	Pro/Engineer	

BIM 软件主要实现幕墙项目整体模型数据及后期下料单整合，工业数字化软件主要实现单元板块的模型建立、切割紧固及加工图制作、BOM 表。不同公司对于平台的选择均有不同，作者综合考虑选择了 Rhino/Grasshopper + Inventor 组合的综合平台。主要有以下方面因素。

一是 Rhino 在幕墙出图下料方面优于 Revit。Rhino + Grasshopper 的参数化平台具有可编译性、可视性、可扩展性，是当前复杂建筑和结构设计应用广泛应用的参数化设计工具[12]。在幕墙建模能力上超出 Revit + Dynamo 平台不少，使得 Rhino 很适合用来解决复杂的问题，通用性更强[13]。

二是 Inventor 作为 Autodeskt 系列中的一款工业数字化软件，其操作方式与 CAD 类似，人员掌握快，并且与 BIM 的数据交换也比较简单，零部件可以直接转换为 REVIT 的族或导出其他格式。

三是 REVIT 的线不能短于 0.8mm，一直以来无法解决，不适合复杂幕墙的出图出料。

四是 Inventor 与 Rhino 两个软件加起来的性价比相对于 Catia 和 Pro－E 更有优势。

五是 Inventor 与 Rhino 数据交换可以是 IFC[14]等多种通用格式，在后期建立协作平台、开发模型数据库、数字样机等系统开发方面适用性更强。

4 BIM 融合工业数字化创新技术主要技术流程

依据项目的建筑幕墙平立面图、大样图、节点图或建筑提供的幕墙模型，通过 Rhino/Grasshopper 建立参数化建筑幕墙结构化模型[15]，生成 BIM 模型数据，通过工业数字化软件 Inventor 建立单元模型与 BIM 模型数据关联，编写参数化程序自动提取整合后的数据，生成幕墙料单与加工图。

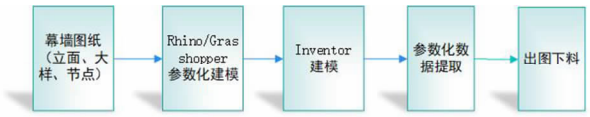

图 1 出图下料技术流程

5 BIM 融合工业数字化创新技术出图下料全过程

作者经过多个幕墙工程项目模拟测试验证，基于 BIM 融合工业数字化的创新技术完合可以应用于各类单元幕墙，下面以某超高层复杂单元幕墙出

图下料为例进行阐述。

5.1 项目概况

项目塔楼高 468m，是世界第七、中国第四、西部第一高楼，塔楼位于北侧（如图 2 所示）。

幕墙范围：主要有大厦塔楼立面幕墙、入口门厅、雨棚幕墙等。

建筑高度：塔楼是 468m 高，101 层综合体，低区为甲级办公空间，中区为高端行政公馆，顶部为五星酒店和天际会所。

主体结构：核心筒 + 钢骨柱 + 外伸臂桁架 + 环带桁架 + 外围斜撑。

幕墙系统：塔楼玻璃单元系统（标准层）、塔楼玻璃单元系统（底部大堂）、塔楼玻璃单元系统（设备层）、塔楼装饰槽单元系统（标准层）、塔楼玻璃单元系统（塔冠）、塔楼底部雨篷系统、塔楼底部门厅系统。

图 2 项目效果图

5.2 项目重难点

（1）建筑外形复杂多变

建筑外形由 16 个角连接而成的 24 边形，由底向顶渐变缩小，单元幕墙在每一层的顶底尺寸均有不同变化（图 3）。相邻的轴线单元幕墙分内倾与外倾，内外倾角度随高度变化而变化，内外倾单元板块过渡使用平行斜面装饰槽单元系统拼接，同一倾面的单元板块过渡使用两种不同尺寸直面装饰槽单元系统拼接，装饰槽交汇处使用单独的三角形装饰槽单元系统（图 4）。

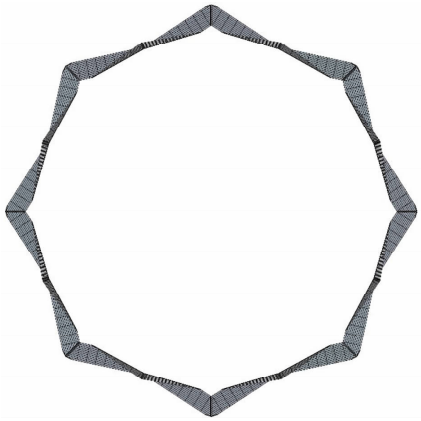

图 3 项目模型顶视图

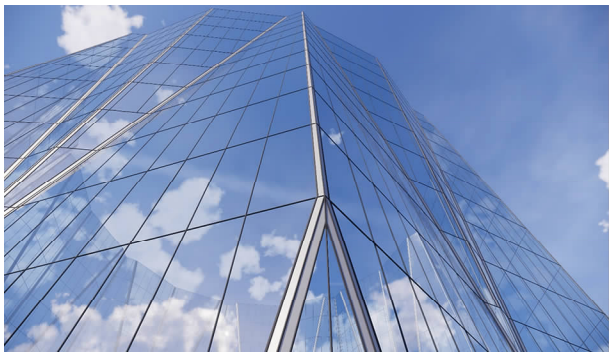

图 4 幕墙系统倾斜面及拼接方式

（2）幕墙下料工程量巨大

成都绿地某大厦塔楼共 468m，101 层，幕墙系统共分 7 大类，涵括单元幕墙与框架幕墙，单元幕墙系统中又划分矩形、梯形、内倾、外倾等多种类型，初步估算约 15 000 块标准单元板需要出图下料。

（3）单元板构造复杂，技术先进

一是立面灯槽单元不锈钢板、铝板为空间异形面板，全部需要三维建模展开辅助出图下料。

二是立面三角单元板块铝合金型材种类繁多，切角为复合角，型材拼接类型多、使用钢件种类多，面材复杂，需要三维放样下单。

三是局部大堂位置采用钢板肋与不锈钢拉杆系统，钢板肋及与主体巨柱连接钢转接件需要三维建模（钢板肋的连接孔位及幕墙转接件孔位全部需在三维表达清楚）精准定位下单；不锈钢拉杆全部需根据结构返尺，三维放样下单。

5.3　幕墙 BIM 与工业数字化融合创新技术出图下料流程

5.3.1 结构化单元幕墙

（1）结构化单元幕墙的意义

常规 CAD 图纸的文字标注方式，是基于图纸标注进行多图表达的，设计师仅能通过肉眼筛选、人工计数等方式来统计和筛分不同类型和数量的板块。而所谓结构化的单元幕墙，则是指在 Rhino 模型中，基于数据、整体存在的单元划分形式，板块的分类信息与模型数据一一对应的，这就为我们后续下料过程中的统计搜集工作，进行了铺垫。

（2）结构划分的方法（图 5）

我们通过依据 CAD 图纸或建筑模型，确定幕墙的准确几何尺寸，把标准单元板块与非标准单元板块分类放置，把相同尺寸规格的单元板块放于相同图层。

其次，通过尺寸和单元幕墙的不同做法来区分单元板块类型。

最后，可以使用 Grasshopper 进行处理，创建出尺寸和所有做法完全一样的图层，用于放置相同的单元板块。

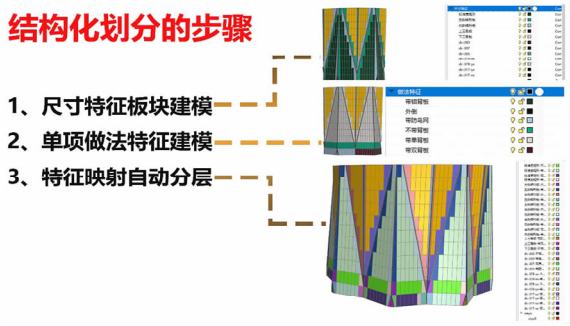

图 5　结构化划分模型

（3）自适应梯形板块的归类（图 6）

梯形板块属于尺寸差异化很多的类型，由于做法完全一样，又有足够的相似性，同做法不同尺寸的体形板块仍然会暂存在同一图层，方便后续提资给 Inventor 软件进行自适应板块创建。

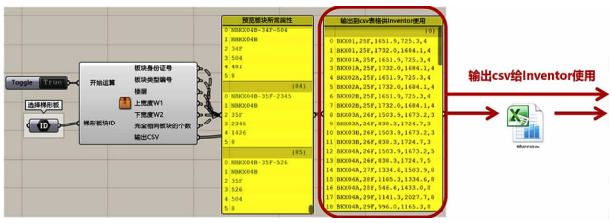

图 6　自适应梯形板块提资

（4）最终分类完成的结构化模型

最终的结构化模型，同过图层名称和颜色来存放单元板块，点选单个单元板即可根据图层名称获知其单元类型（图 7），直观的多色彩显示可以了解板块类型的分布情况（图 8），从根源上避免了文字图例标注。

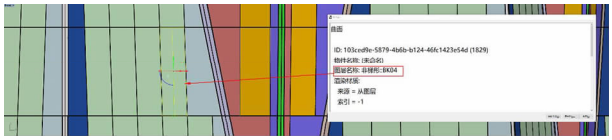

图 7　获取图层名

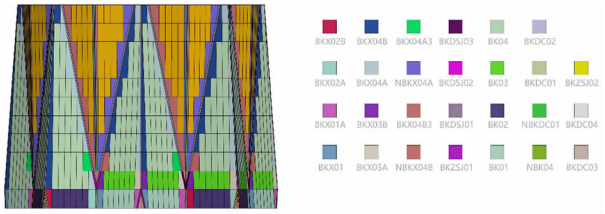

图 8　板块的分色显示

5.3.2　建模组框，模拟切割加工

（1）建模入库

根据 CAD 型材图、节点图创建型材、胶条模型，并发布到 BIM 中心资源库，实现协同下料，减少建模工作量。项目上所有设计师基于 BIM 中心资源库进行建模组框，族库修改时所有人都能同步修改（图 9、10）。

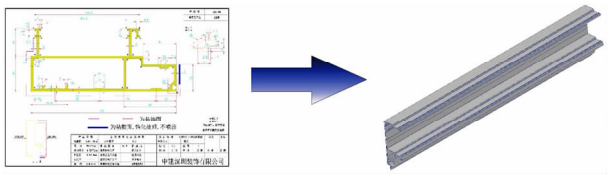

图 9　建立型材零件模型

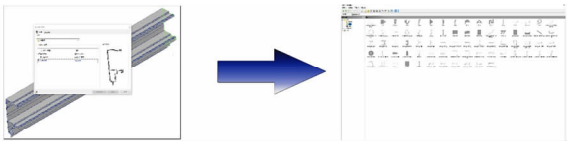

图 10　零件发布到中心资源库

（2）建立骨架与面板模型

依据 BIM 模型数据进行建立自适应骨架与面板模型，每个结构放置基准节作为参考组框的参照依据（图 11、12）。

（3）单元组框

根据骨架进行单元板块模型的组框，在骨架基准点上放置型材、胶条、面板等零件，实现单元组框（图 13、14）。

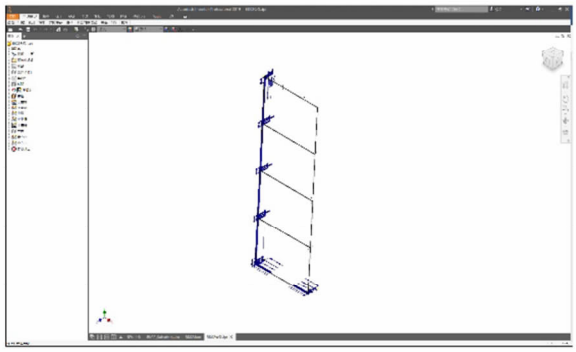

图 11　自适应骨架模型

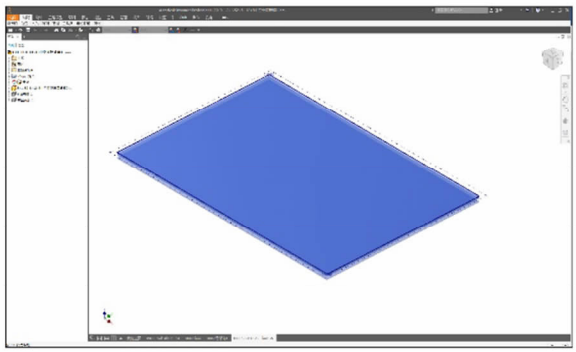

图 12　自适应玻璃面板模型

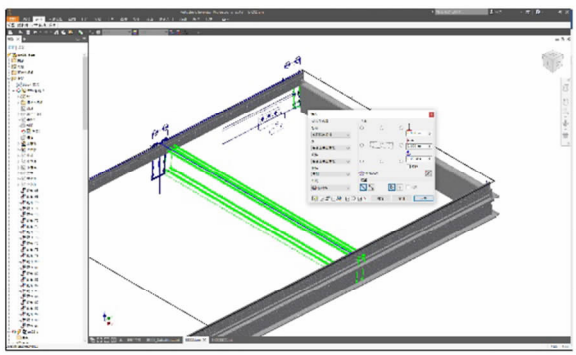

图 13　放置型材及面板零件

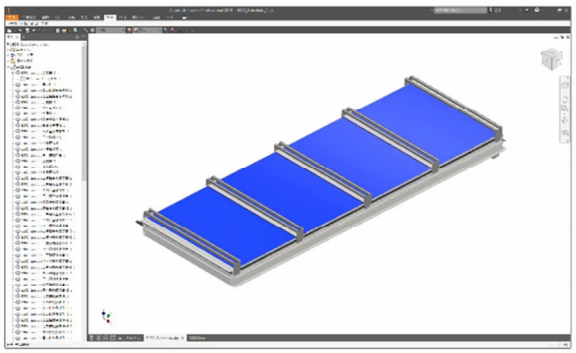

图 14　单元组框部件

（4）切割与避位开孔

对单元组框部件进行切割与避位开孔，按照组装单元板的切割及避位开孔要求，进行型材切割、开孔与紧固（图 15、16、17）。

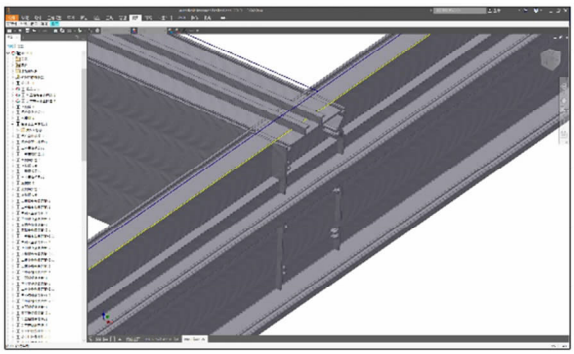

图 15　型材切割前

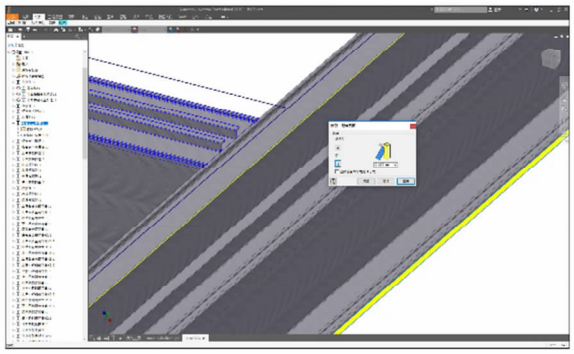

图 16　型材切割后

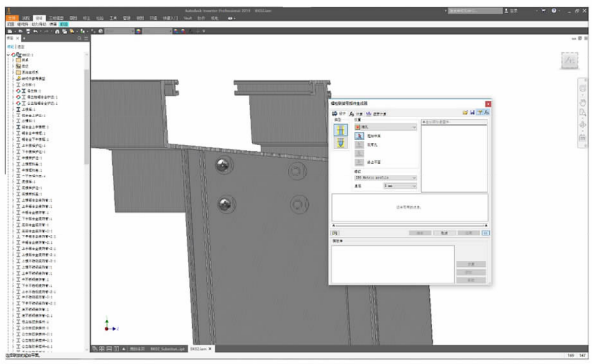

图 17　型材避位、开孔及紧固

5.3.3　数据关联，自动下料

（1）关联 BIM 模型数据

通过编写 iLogic 规则关联 BIM 模型数据，通过 BIM 模型数据，能够自动适应单元板块的所有变化，利用 BOM 表自动导出所有单元板块的数据表。如果加工厂支持数字化样机技术，还可以打包模型数据（包含单类型、BOM 表、加工图）直接发送给加工

厂,可以提高加工效率(图 18、19)。

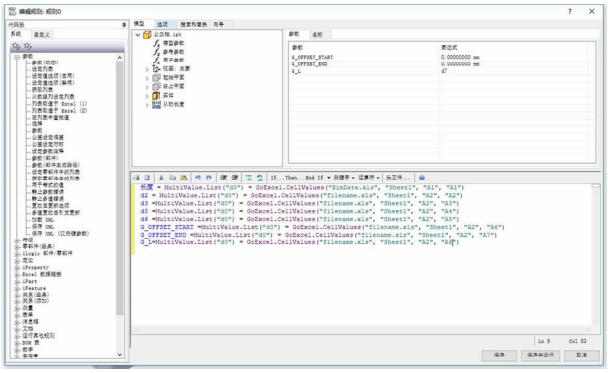

图 18　关联 BIM 模型数据

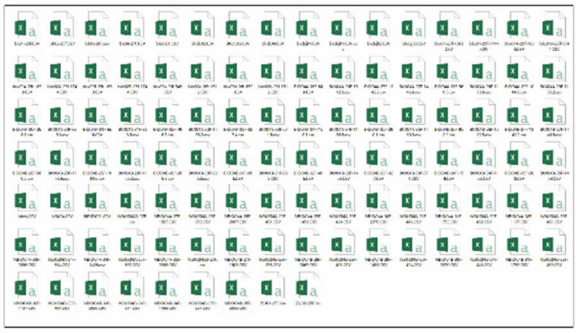

图 19　BOM 表导出 CSV 数据表

(2)生成料单

把导出的单元板块数据表通过 Grasshopper 及 Python 程序,将所有对应数量的单元板汇总,提取下料需要的字段,编写程序生成下料单(图 20、21、22)。

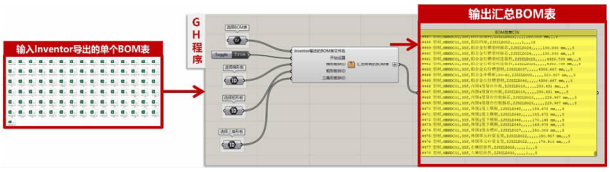

图 20　制作料单总表

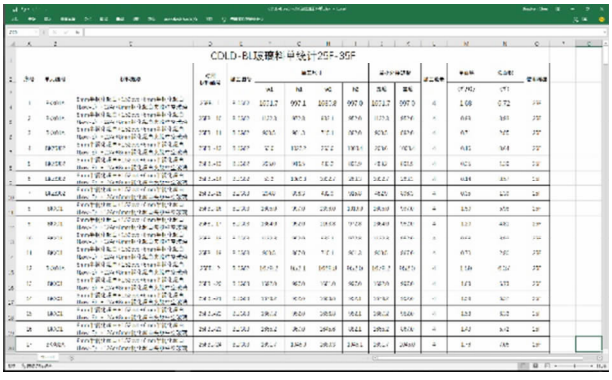

图 21　玻璃料单

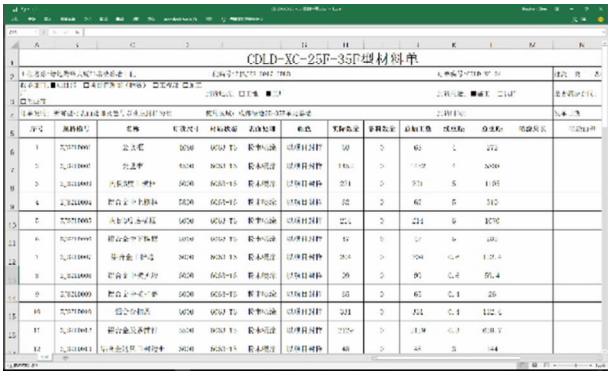

图 22　型材料单

5.3.4　加工图制作

使用 Inventor 的工程图功能生成组框图与型材加工图。Inventor 中创建的图纸都是基于模型的,图纸与模型、BOM 表实时关联,模型中的型材、胶条、面板等,经过模拟切割、开孔后的信息,也会实时关联到加工图中。另外表达视图功能还能生成模拟动画,针对复杂单元板块可以输出组框模拟动画,方便工厂安装与加工(图 23、24、25)。

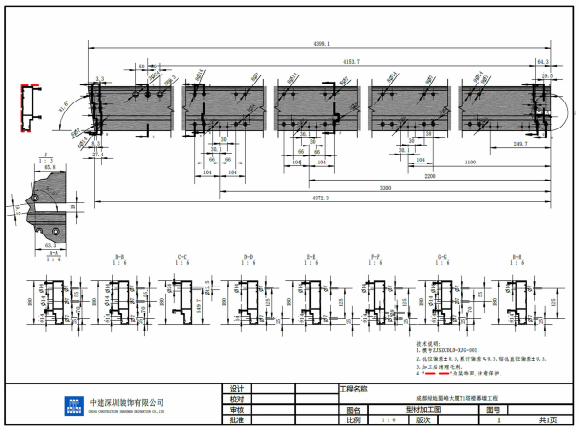

图 23　型材加工图

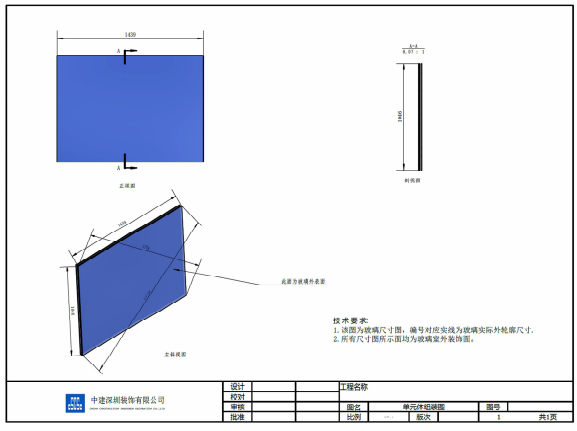

图 24　玻璃加工图

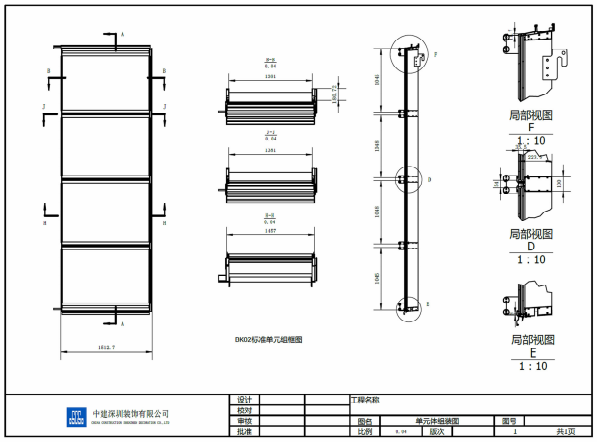

图 25　单元组框图

6　BIM 融合工业数字化创新技术的应用效果

(1)数据更加精确

通过创新技术出具的提料单、下料单和组框清单,在数据上更加准确、集成一体,精确度可以根据不同的设计标准进行调整,并且通过标准单元板块衍生出的梯形单元幕墙,所有数据全部由计算机自动完成,减少因手工计算可能出现的误差。

(2)效率更高

我们选取某超高层复杂单元幕墙项目 10 层的工作量,与项目上的幕墙设计下料组同时展开下料工作,通过与传统出图下料对比测试,融合创新技术的效率比传统出图下料的效率更高。

表 2　出图下料效率对比

名称	传统出图下料	BIM 出图下料
时间效率	38 个工作日	38 个工作日
工作量	完成 8 层单元幕墙下料	完成 10 层单元幕墙下料
完成单元类型	27 种 1104 块单元	27 种 1520 块单元
完成的内容	玻璃料单、型材下料单	玻璃料单、型材下料单、2 个标准单元型材加工图和组装图
人员投入	10 人	4 人

7　结语

通过超高层复杂单元幕墙项目出图下料测试,BIM 融合工业数字化创新技术与传统出图下料方式相比更精确,效率更高,在一定的程度上可以降低项目的成本,减少工作量,释放项目人员工作压力,提高项目进度,其效果是显而易见的。平台在扩展性方面也比较强,可以与常见的 BIM 软件进行相互传递数据,可以将单元加工数据直接发送给工厂进行数字化加工,还可以通过二次开发,开发相应的插件和平台,进一步提升企业的数字化建设。

BIM 技术与工业数字化技术相融合将会是今后建筑行业创新技术发展的方向之一,特别是在装配式、钢结构、幕墙这类工程项目上,其作用更为明显。在技术日益更新的今天,只有做到不断地融合创新,才能让我们立足行业桥头。

参考文献

[1] GB/T 51212 - 2016, 建筑信息模型应用统一标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.

[2] GB/T 51235 - 2017,建筑信息模型施工应用标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.

[3] 李云贵, 何关培, 邱奎宁, 等. 建筑工程设计 BIM 应用指南(第二版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2017.

[4] 罗兰, 彭中要. 公共建筑装饰工程 BIM 技术应用流程研究[J]. 土木建筑工程信息技术,2017, 9(4): 31 - 36.

[5] 刘京城, 苏李渊. 长沙梅溪湖国际文化艺术中心幕墙 BIM 技术应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2017, 9(1): 1 - 6.

[6] 刘珩. BIM 技术在上海中心大厦外幕墙工程中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术, 2013, 5(5): 79 - 87,97.

[7] 罗兰, 王芳. 某项目装饰工程基于 Revit 的 BIM 技术应用研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2014, 6(4): 55 - 61.

[8] 连立川, 张鹏程, 刘燕妮. 基于 BIM 体系的钢筋优化下料初探[J]. 土木建筑工程信息技术, 2016, 8(4): 69 - 72.

[9] 陆海燕, 钟铁夫, 王秀文. 基于 BIM 的框架结构参数化设计研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2015, 7(5): 107 - 112.

[10] 胡挺, 吴立军. CATIA 二次开发技术基础[M]. 北京: 电子工业出版社, 2006.

[11] 曾晓武. 基于 BIM 技术的建筑幕墙设计下料[J]. 建筑门窗幕墙创新与发展, 2018(4).

[12] 张慎, 尹鹏飞. 基于 Rhino + Grasshopper 的异形曲面结构参数化建模研究[J]. 土木建筑工程信息技术, 2015, 7(5): 102 - 106.

[13] 任璆, 戈宏飞. 三维建模 Rhinoceros 软件在幕墙设计中的应用[J]. 机电工程技术, 2010(7).

[14] 刘照球，李云贵，张汉义. 工程设计模型数据库应用系统开发[J]. 土木建筑工程信息技术，2011，3(3)：16－21.

[15] 岂凡. 基于 Grasshopper 的参数化方法在结构设计中的应用[J]. 土木建筑工程信息技术，2018，10(1)：105－110.

Application of Innovative Technology Integrating BIM and Industrial Digitalization in Drawing and Blanking of Curtain Walls

Chen Bingren, Qiu Jizhun

(*China Construction Shenzhen Decoration Co., Ltd., Shenzhen* 518035, *China*)

Abstract: Taking the complexed curtain wall of a certain super high-rise building as an example, this paper discusses the application of innovative technology, which integrates the BIM technology with industrial digitization, in the drawing and blanking of the curtain wall structure of high-rise building. Comparisons are made with the traditional curtain wall drawing and blanking process, through which embodies the outstanding advantages of the innovative technology integrating BIM and industrial digitization in the works of drawing and blanking of the curtain wall structure.

Key Words: BIM; Industrial Digitalization; Curtain Wall; Drawing and Blanking; Rhino; Inventor